

## 한국의 환경미생물학 연구의 발전 현황

- 국내 미생물학 분야의 학술지에 게재된 논문의 통계 분석 -

김치경

충북대학교 생명과학부, 환경 및 분자미생물학 교수

### 환경미생물학 연구의 출발과 학술지의 발전

우리나라에서는 미생물에 의한 발효식품이 전통적으로 발달되었지만, 한국의 미생물학은 병원미생물학 분야의 연구로부터 시작되었다고 할 수 있다. 그와 같은 연구분위기는 일제시대에 조성되어 광복 후까지 계속되었다. 6.25 동란으로 학문적 분위기가 일시 중단되었지만, 휴전 후에는 각 대학에 생물학과가 설치되었고 전쟁의 후유증이 가라앉으며 사회가 정돈되는 1959년에 들어서야 한국미생물학회가 결성되었다. 그리고 1960년대에 들어와 미생물에 관한 초기연구는 이배함, 이주식, 이철준, 홍순우, 이영록, 이계호, 장건형, 김종협, 이현순 교수 등 몇몇 학자들에 의하여 출발되었는데, 주로 균류와 조류와 같은 진핵 미생물의 생리작용에 대한 환경요소의 영향 그리고 발효와 그들을 이용하는 미생물의 기능에 대하여 극히 부분적으로 진행되었다.

1960년대 후반에 와서는 자연 수계나 토양환경에서 작용하는 미생물의 기능이나 분포조사, 그리고 순수분리된 각 미생물들에 대한 물리화학적 환경요소의 영향을 생장활동과 생리적 기능의 측면에서 연구하기 시작하였다. 또 1970년대 후에 들어서서 환경의 오염문제에 관한 연구가 시작되었고, 1980년대 후반부터 독성오염물질의 미생물 분해에 관한 연구가 활발해졌다. 그리고 1990년대에 들어서 유전공학기술이 도입되면서 환경오염물질의 분해 유전자에 관한 연구가 시작되었다.

그 후, 한국미생물학회에서 미생물학회지가 1963년에 처음 발간되었고, 뒤를 이어 1968년에 한국육수학회지가 창간되었고, 1973년 한국산업미생물학회지, 1983년 한국환경생물학회지, 1990년 한국생물공학학회지가 발간되기 시작하였다. 그리고 순수 영문지로서 Journal of Microbiology and Biotechnology (JMB)가 1991년에 한국산업미생물학회에서, Journal of Microbiology (JM)가 1995년에 한국미생물학회에서 그리고 Biotechnology and Bioprocess Engineering(BBE)이 한국생물공학회에서 1996년부터 발간되어 현재에 이르고 있다. 그 동안 이들 논문집에 게재된 생태 및 환경미생물학 분야의 논문을 ① 수계 및 토양계의 미생물분포 조사, ② 생태계 미생물의 생리적 기능 및 활성, ③ 분자생태학 및 유전자분석, ④ 환경요소 및 오염물질의 영향, ⑤ 오염물질의 미생물 분해, ⑥ 분해효소 및 분해유전자, ⑦ 생태계의 오염조사 및 방제, ⑧ 미생물에 의한 하폐수처리 등 8개의 영역으로 구분하여 연도별로 분석한 통계 자료는 <도표 1>에서 보는 바와 같다.

표 1>에서 보는 바와 같다.

상기 5개 학회에서 발간하는 9개 학회지에 2000년도까지 게재된 생태 및 환경미생물학 분야의 총 논문은 969편이며, 이들 학술지에 게재된 전체 논문 수에 비하면 약 14%에 해당된다. 이들 논문을 연대별로 구분해 보면 1960년대에 21편, 1970년대에 80편, 1980년대에는 195편 그리고 1990년대에는 673편으로 1980년대 중반 이후 특히 1990년대의 논문 수가 급격하게 증가되는 추세였으나, 전체 논문수에 대한 비율은 각 연대마다 13~15% 수준으로 큰 변화가 없었다.

또 지금까지 상기 학회지에 발표된 미생물생태 및 환경미생물학 분야의 논문을 연구영역별로 비교해 보면 생태계에서의 미생물분포 조사가 27%로 가장 많았고 그 다음에 오염물질의 미생물분해가 25%로 상기 두 분야의 논문이 전체논문 중 과반수를 차지하고 있다. 그 다음으로 환경요소 및 오염물질의 영향에 관한 논문이 12%, 미생물의 분해효소 및 분해유전자가 10%, 미생물의 생리활성이 9% 순이었고, 생태계의 오염조사나 하폐수처리 분야 그리고 근래에 와서 연구되기 시작한 분자생태학 및 유전자의 분석에 관한 논문은 각각 5~6%에 불과하였다<도표 1>.

미생물생태학의 내용을 포함하는 환경미생물학 분야의 연구내용을 연대별로 구분해서 살펴보면 아래와 같다.

### 1960년대: 생태계에서 미생물의 역할

수계 및 토양 생태계에서 미생물의 역할에 관한 연구가 1960년대초부터 시작되어 우리나라에서도 미생물생태학의 중요성이 인식되기 시작하였다. 조류(藻類)를 대상으로 하는 생태학적 연구는 분류학적 연구를 바탕으로 하는 분포론적 연구로부터 비롯되었다. 국내 담수조류의 생태적 연구는 1950년대부터 시작되어 식물 플랑크톤의 분포, 식물 플랑크톤을 대상으로 오염지표성 연구 등의 정성분석이 1970년도까지 계속되었다. 특히 1967년에 한국육수학회가 창립되면서 국내의 호소, 인공호 또는 하천을 대상으로 다양한 생태적 연구가 수행되었다.

토양과 수계의 미생물 분포에 관한 연구가 초기의 학회지에 나타난 논문들의 내용이었다. 미생물학회지 1965년에 "식품의 세균학적 표준연구-장류 중에 coliform group의 오염도와 그 사멸성에 관하여"가 발표되었고(정운수, 장건형), 1967년에는 "Chlorella의 물질대사 및 환경요인의 영향등에 관한 연구"(이

<도표 1> 국내 미생물학 관련 8개 학술지에 게재된 환경미생물학 분야의 논문

| 연도   | 연구 영역 |    |     |     |     |     |     |      | 계    | 총논문 대비 |
|------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|
|      | I     | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII |      |        |
| 1967 |       |    |     | 6   |     |     |     |      | 6    | 43%    |
| 1968 | 3     |    |     | 3   |     |     |     |      | 6    | 24%    |
| 1969 | 4     |    |     | 2   |     |     | 1   |      | 7    | 22%    |
| 1970 | 1     | 1  |     |     |     |     |     |      | 2    | 9%     |
| 소계   | 8     | 1  | 0   | 11  | 0   | 0   | 1   | 0    | 21   | 22%    |
| 1971 | 3     |    |     | 1   |     |     |     | 1    | 5    | 15%    |
| 1972 | 3     | 1  |     | 1   |     |     |     | 1    | 6    | 19%    |
| 1973 | 3     |    |     | 1   | 2   |     |     |      | 6    | 13%    |
| 1974 | 2     |    |     | 1   | 1   |     | 1   | 1    | 6    | 11%    |
| 1975 | 3     |    |     | 2   | 2   | 2   |     | 1    | 10   | 20%    |
| 1976 | 1     |    |     | 3   | 3   | 5   |     |      | 12   | 21%    |
| 1977 | 4     |    |     | 2   | 2   |     |     |      | 8    | 13%    |
| 1978 | 2     |    |     | 3   | 3   |     |     |      | 8    | 12%    |
| 1979 | 1     | 1  |     | 2   | 4   | 2   | 2   | 1    | 13   | 21%    |
| 1980 | 1     |    |     | 3   | 1   |     | 1   |      | 6    | 10%    |
| 소계   | 23    | 2  | 0   | 19  | 18  | 9   | 4   | 5    | 80   | 15%    |
| 1981 | 4     |    |     | 1   | 2   |     |     | 1    | 8    | 12%    |
| 1982 | 4     |    |     | 5   | 4   | 1   | 1   |      | 15   | 20%    |
| 1983 | 5     | 1  |     | 4   | 3   |     |     |      | 13   | 14%    |
| 1984 | 4     |    |     | 3   | 2   |     |     |      | 9    | 8%     |
| 1985 | 5     | 1  |     | 2   | 2   | 1   | 1   |      | 12   | 9%     |
| 1986 | 3     | 1  | 2   | 4   | 7   | 6   | 1   |      | 24   | 15%    |
| 1987 | 9     |    | 2   | 1   | 4   | 2   |     | 2    | 20   | 12%    |
| 1988 | 6     | 4  |     | 4   | 5   | 2   |     | 1    | 22   | 11%    |
| 1989 | 9     | 4  |     | 7   | 5   | 3   | 2   |      | 30   | 13%    |
| 1990 | 5     | 4  | 6   | 3   | 10  | 8   | 2   | 4    | 42   | 15%    |
| 소계   | 54    | 15 | 10  | 34  | 44  | 23  | 7   | 8    | 195  | 13%    |
| 1991 | 12    | 5  |     | 5   | 7   | 5   | 1   | 4    | 39   | 12%    |
| 1992 | 14    | 6  | 2   | 4   | 12  | 5   | 1   | 1    | 45   | 12%    |
| 1993 | 17    | 3  | 2   | 3   | 5   | 10  | 2   | 2    | 44   | 11%    |
| 1994 | 17    | 7  | 2   | 4   | 20  | 10  | 1   | 1    | 62   | 15%    |
| 1995 | 15    | 11 | 1   | 5   | 10  | 6   | 3   | 2    | 53   | 12%    |
| 1996 | 20    | 10 | 6   | 4   | 8   | 7   | 7   | 4    | 66   | 14%    |
| 1997 | 19    | 11 | 6   | 3   | 29  | 6   | 9   | 7    | 90   | 18%    |
| 1998 | 23    | 4  | 5   | 10  | 27  | 3   | 5   | 2    | 79   | 15%    |
| 1999 | 25    | 10 | 6   | 10  | 27  | 6   | 9   | 5    | 98   | 16%    |
| 2000 | 16    | 6  | 7   | 9   | 31  | 10  | 10  | 8    | 97   | 16%    |
| 소계   | 178   | 73 | 37  | 57  | 176 | 68  | 48  | 36   | 673  | 14%    |
| 합계   | 263   | 91 | 47  | 121 | 238 | 100 | 60  | 49   | 969  | 14%    |
| 비율   | 27%   | 9% | 5%  | 12% | 25% | 10% | 6%  | 5%   | 100% |        |

\* 연구영역: I, 수계 및 토양계의 미생물분포 조사; II, 미생물의 생리적 기능 및 활성; III, 분자생태학 및 유전자분석; IV, 환경요소 및 오염물질의 영향; V, 오염물질의 미생물 분해; VI, 분해효소 및 분해유전자; VII, 생태계의 오염조사 및 방제; VIII, 미생물에 의한 하·폐수처리

\* 조사학술지: 한국미생물학회지, 미생물과산업, Journal of Microbiology, 한국산업미생물학회지, Journal of Microbiology and Biotechnology, 한국육수학회지, 한국환경생물학회지, 한국생물공학학회지, Biotechnology and Bioprocess Engineering.

주식, 이영록, 이현순)의 논문이 발표되었다. 또 “미생물의 세포 생리에 미치는 전리방사선의 영향”(김중협), “*Aspergillus*의 항생제 생성”(김치경, 이배함) 등의 연구가 보고되었다. 1968년에는 *Rhizopus*균의 섬유소 분해(성낙계)와 분류학적연구(이배함) 외에 *Aspergillus*의 생리(박계인, 정기택)와 생태적 특성(이두영) 등 균류에 관한 연구가 이루어졌고, “한강하류 감조수역 및 간척지토양에 있어서 미생물의 분포변화”가 보고되었다(홍순우, 하영칠).

1969대 말에는 탁약주의 효모균에 관한 연구(김중협, 홍순우, 이성범, 이주식)를 비롯해서 유기물 첨가에 의한 토양 개량(홍순우, 최영길)과 미생물에 의한 공기의 SO<sub>2</sub> 오염 방제(이배함) 등 환경오염 문제에 대한 미생물학적 연구가 시작되었다. 이때부터 산업발전에 따라 나타나는 공단 및 도시 하천의 오염 문제가 지적되었고 그에 따라 생태계에서 미생물의 역할에 대한 중요성도 인식하게 되었다. 그러나 이때까지는 오염지역의 미생물분포 조사와 그 변화양상에 대한 연구가 미생물생태학 연구의 주요 내용이었다.

### 1970년대: 미생물의 분포조사 및 환경요소의 영향

1970년대에 들어와서 서울대학교에 미생물학과가 신설되어 환경오염과 연관된 미생물학 연구가 조금씩 진행되었다. 이때부터 시작한 수계와 토양계의 미생물 분포에 관한 연구는 대상군집 및 조사지역이 전국으로 확대되어 23편의 연구논문이 한국미생물학회지와 한국육수학회지에 주로 발표되었다. 토양세균과 분변성 오염세균, 효모 등 특정 군집의 분포에 대한 연구가 시작되었으며(서울대 홍순우, 최영길, 전남대 전순배), 동식물 플랑크톤의 분포조사도 활발히 진행되어 강원대(조규송)에서 한강수계를 중심으로 많은 연구활동을 하였다. 또한 미생물군집의 분포뿐만 아니라 활성에 대한 연구가 시작되어 간척지의 토양호흡, 경기만의 수질오염과 생산력, 한강의 자정능력에 대한 연구되었다(서울대 홍순우, 하영칠, 한양대 최영길).

그 반면에 오염물질에 대한 미생물의 분해에 관한 연구가 몇몇 대학의 연구실에서 수행되기 시작하였고, 각종 오염물질로 오염된 하천과 호수 수계 및 토양생태계에 대한 오염도 조사가 정부의 연구 및 발표규제에도 불구하고 간간히 이루어져 보고되었다. 또한 가정하수로 오염된 하폐수나 특정 공장폐수에 대한 미생물처리와 그 효율 그리고 미생물에 대한 환경요인들의 영향에 대한 연구도 조금씩 활발해지기 시작하였다.

1970년대부터 진해만을 중심으로 본격적인 적조가 발생되면서 적조현상 규명과 더불어 연근해 식물 플랑크톤의 생태적 연구가 활발히 수행되었다. 우리나라에서 적조를 일으키는 원인 플랑크톤은 현재 40여 종이 알려져 있으며, 수산생물에 직접적인 피해를 주는 *Gymnodinium mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium* sp., *Alexandrium tamarense* 등의 와편모조류가 많이 연구되었다. 1970년대 후반에는 식물 플랑

크톤군집의 정량분석이 이루어졌을 뿐만 아니라 종다양성 지수를 도입하여 생태계를 분석하는 연구가 시도되었다.

1970년대 말까지 한국미생물학회지와 한국산업미생물학회지 그리고 한국육수학회지에 각각 게재된 미생물생태 및 환경미생물학 분야의 논문은 각각 43편과 17편 그리고 20편에 불과하였다. 이 논문들의 대부분은 하천의 미생물분포 조사와 미생물 생리활성에 미치는 환경요소들의 영향에 관한 것들이었고, 오염물질에 대한 미생물의 분해에 관한 연구가 20편 정도에 불과하였다<도표 2, 도표 3, 도표 4>.

### 1980년대: 환경 오염문제와 미생물의 생리활성

1980년대에 들어서 적조발생 해역이 전국적으로 확산되고 유독성으로 변해감에 따라 해마다 수산생물의 피해규모가 증가하였다. 이에 따라 식물 플랑크톤의 물질대사 연구, 주요 화학성분의 지구화학적 연구, 조류 생태학 등 새로운 영역으로 확산되면서 활발하게 연구되었다. 1980년대 중반부터 호소의 부영양화와 함께 하계에 남조류의 수화(水華, algal bloom)현상에 관한 연구가 활발해졌다. 또한, 1980년 초에 서로 다른 크기에 속하는 식물 플랑크톤의 분포조사가 시작되었으며, 미세 플랑크톤(20 μm 이하)의 시·공간 분포에 대한 연구가 계속되었다. 특히 1986년 한국조류학회가 창설되면서 조류학에 관한 연구활동은 본격적인 궤도에 올라 국내 조류학이 크게 발전하는 계기가 되었다(경북대 정준, 전남대 위인선, 강원대 김범철).

미생물생태학적으로는 해양(진해만, 천수만, 군산 등) 및 담수생태계(낙동강, 한강, 소양호 등)를 중심으로 미생물 분포에 관한 많은 연구가 한양대(최영길), 서울대(홍순우, 하영칠, 김상중), 강원대(조규송, 안태석, 김범철), 인제대(권오섭) 등의 연구실에서 진행되었으며, 54편의 연구논문이 발표되어 1970년대에 비해 두 배 이상의 증가를 보였다. 계절적 요인 및 환경요인의 영향분석, 종속영양세균 군집의 다양성 연구 및 수리학적 분석, 동식물 플랑크톤의 분포조사가 주류를 이루었으며 균류와 바이러스에 대한 연구도 시작되었다. 또한 자연환경에 서식하는 미생물 군집의 분포와 활성을 함께 연구하는 경향이 생겼으며, 질화세균의 암모니아산화능, 종속영양세균의 생리적 활성도 및 이차생산력, 미생물의 세포의 효소활성도 등 효소학적 활성에 관한 구체적인 연구논문들이 한국미생물학회지를 비롯하여 한국육수학회지와 한국환경생물학회지에 많이 게재되었고, 형광기질을 이용한 효소활성도의 측정방법, 세균생산량 측정방법의 비교, 등 미생물 군집의 활성을 조사하는 연구방법의 개선을 강구하면서 많은 논문이 발표되었다<도표 2, 도표 4, 도표 5>.

산업발달에 의하여 자연 생태계의 오염이 심각해 짐에 따라 여러가지 독성 화학물질의 오염도에 관한 조사연구가 활발해졌다. 특히 합성세제, aniline, PCB, phenol, PEG 등 독성이 높고 분해가 잘되지 않는 오염물질을 분해하는 미생물의 분리와 이 오염물질의 분해 과정에 관한 연구가 여러 연구실에서 시행

<도표 2> 한국미생물학회의 학술지에 게재된 논문분석

| (1) 한국미생물학회지 + 미생물과 산업      |       |    |     |     |     |     |     |      |      |       |
|-----------------------------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|
| 연도                          | 연구 영역 |    |     |     |     |     |     |      | 계    | 총논문대비 |
|                             | I     | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII |      |       |
| 1963                        |       |    |     |     |     |     |     |      |      | 0%    |
| 1964                        |       |    |     |     |     |     |     |      |      | 0%    |
| 1965                        |       |    |     |     |     |     |     |      |      | 0%    |
| 1966                        |       |    |     |     |     |     |     |      |      | 0%    |
| 1967                        |       |    |     | 6   |     |     |     |      | 6    | 43%   |
| 1968                        | 3     |    |     | 3   |     |     |     |      | 6    | 33%   |
| 1969                        | 1     |    |     | 2   |     |     | 1   |      | 4    | 25%   |
| 1970                        |       | 1  |     |     |     |     |     |      | 1    | 6%    |
| 소계                          | 4     | 1  | 0   | 11  | 0   | 0   | 1   | 0    | 17   | 18%   |
| 1971                        |       |    |     | 1   |     |     |     |      | 1    | 5%    |
| 1972                        | 1     | 1  |     | 1   |     |     |     | 1    | 4    | 21%   |
| 1973                        |       |    |     | 1   |     |     |     |      | 1    | 5%    |
| 1974                        | 1     |    |     | 1   |     |     |     | 1    | 3    | 15%   |
| 1975                        | 2     |    |     | 2   |     | 2   |     |      | 6    | 33%   |
| 1976                        |       |    |     | 3   | 2   | 5   |     |      | 10   | 50%   |
| 1977                        | 1     |    |     | 2   |     |     |     |      | 3    | 15%   |
| 1978                        |       |    |     | 3   | 1   |     |     |      | 4    | 15%   |
| 1979                        | 1     |    |     | 2   | 3   | 2   |     |      | 8    | 33%   |
| 1980                        |       |    |     | 2   | 1   |     |     |      | 3    | 12%   |
| 소계                          | 6     | 1  | 0   | 18  | 7   | 9   | 0   | 2    | 43   | 20%   |
| 1981                        | 3     |    |     | 1   | 1   |     |     |      | 5    | 19%   |
| 1982                        | 3     |    |     | 3   | 3   | 1   |     |      | 10   | 40%   |
| 1983                        | 1     | 1  |     | 3   | 2   |     |     |      | 7    | 22%   |
| 1984                        | 3     |    |     | 1   | 2   |     |     |      | 6    | 18%   |
| 1985                        | 2     | 1  |     | 1   | 1   | 1   |     |      | 6    | 12%   |
| 1986                        | 1     | 1  |     | 2   | 6   | 4   |     |      | 14   | 20%   |
| 1987                        | 4     |    |     | 2   | 2   | 2   |     | 2    | 10   | 14%   |
| 1988                        | 4     | 3  |     | 4   | 2   |     |     |      | 13   | 16%   |
| 1989                        | 4     |    |     | 5   | 3   | 1   |     |      | 13   | 15%   |
| 1990                        | 3     | 1  | 6   |     | 6   | 2   | 1   | 3    | 22   | 25%   |
| 소계                          | 28    | 7  | 6   | 20  | 28  | 11  | 1   | 5    | 106  | 19%   |
| 1991                        | 2     | 3  |     | 4   | 2   | 2   | 1   |      | 14   | 16%   |
| 1992                        | 3     | 3  | 1   | 2   | 8   | 5   | 1   |      | 23   | 19%   |
| 1993                        | 3     | 2  | 1   | 2   | 1   | 6   | 1   | 1    | 17   | 13%   |
| 1994                        | 4     | 3  | 1   | 3   | 9   | 6   | 1   |      | 27   | 24%   |
| 1995                        | 2     | 1  |     |     | 1   |     |     |      | 5    | 10%   |
| 1996                        | 1     | 1  | 1   | 3   |     |     | 1   |      | 7    | 14%   |
| 1997                        | 3     | 1  | 5   |     | 3   | 2   | 2   | 1    | 17   | 39%   |
| 1998                        | 5     |    | 3   | 1   | 5   |     |     |      | 15   | 33%   |
| 1999                        | 2     | 1  | 4   | 2   | 2   | 2   |     | 1    | 14   | 25%   |
| 2000                        | 2     | 2  | 3   | 1   | 9   | 3   | 2   |      | 22   | 37%   |
| 소계                          | 27    | 17 | 19  | 18  | 40  | 26  | 11  | 3    | 161  | 21%   |
| 합계                          | 65    | 26 | 25  | 67  | 75  | 46  | 13  | 10   | 327  | 20%   |
| (2) Journal of Microbiology |       |    |     |     |     |     |     |      |      |       |
| 연도                          | 연구 영역 |    |     |     |     |     |     |      | 계    | 총논문대비 |
|                             | I     | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII |      |       |
| 1995                        | 2     | 2  |     | 3   | 1   | 4   |     |      | 12   | 19%   |
| 1996                        |       | 1  | 5   | 1   | 2   | 4   | 1   |      | 14   | 23%   |
| 1997                        | 1     |    | 1   |     | 10  | 2   | 1   |      | 15   | 26%   |
| 1998                        | 1     | 3  | 1   | 3   | 5   | 1   |     |      | 14   | 28%   |
| 1999                        | 2     | 1  | 1   | 2   | 4   | 2   |     | 1    | 13   | 31%   |
| 2000                        | 1     |    | 1   | 2   | 5   | 2   | 1   |      | 12   | 25%   |
| 합계                          | 7     | 7  | 9   | 11  | 27  | 15  | 3   | 1    | 80   | 25%   |
| 총계                          | 72    | 33 | 34  | 78  | 102 | 61  | 16  | 11   | 407  |       |
| 비율                          | 18%   | 8% | 8%  | 19% | 25% | 15% | 4%  | 3%   | 100% |       |

\* 연구영역 구분은 <도표 1>과 같음.

&lt;도표 3&gt; 한국산업미생물학회의 학술지에 게재된 논문분석

| (1) 산업미생물학회지                                  |      |    |     |     |     |     |     |      |     |       |     |
|---|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|-----|
| 연도  | 연구영역 |    |     |     |     |     |     |      | 계   | 총논문대비 |     |
|   | I    | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII |     |       |     |
| 1973  |      |    |     |     | 2   |     |     |      |     | 2     | 13% |
| 1974  |      |    |     |     | 1   |     |     | 1    |     | 2     | 9%  |
| 1975  |      |    |     |     | 2   |     |     |      | 1   | 3     | 14% |
| 1976  |      |    |     |     | 1   |     |     |      |     | 1     | 4%  |
| 1977  |      |    |     |     | 2   |     |     |      |     | 2     | 8%  |
| 1978  |      |    |     |     | 2   |     |     |      |     | 2     | 7%  |
| 1979  |      |    |     |     | 1   |     |     | 2    | 1   | 4     | 14% |
| 1980  |      |    |     |     |     |     |     | 1    |     | 1     | 4%  |
| 소계  | 0    | 0  | 0   | 0   | 11  | 0   |     | 4    | 2   | 17    | 9%  |
| 1981  |      |    |     |     |     |     |     |      | 1   | 2     | 6%  |
| 1982  |      |    |     | 2   | 1   |     |     |      |     | 3     | 8%  |
| 1983  |      |    |     |     | 1   |     |     |      |     | 1     | 2%  |
| 1984  |      |    |     | 1   |     |     |     |      |     | 1     | 2%  |
| 1985  |      |    |     |     | 1   |     |     |      |     | 1     | 2%  |
| 1986  |      |    | 2   | 1   | 1   | 2   |     | 1    |     | 7     | 11% |
| 1987  |      |    | 2   | 1   | 1   |     |     |      |     | 4     | 6%  |
| 1988  |      |    |     |     | 2   | 2   |     |      | 1   | 5     | 5%  |
| 1989  |      |    |     | 1   | 2   | 2   |     | 1    |     | 6     | 5%  |
| 1990  |      |    |     | 1   |     | 6   |     | 1    |     | 8     | 7%  |
| 소계  | 0    | 0  | 4   | 7   | 10  | 12  |     | 3    | 2   | 38    | 5%  |
| 1991  |      |    |     | 1   |     | 3   |     |      | 2   | 6     | 6%  |
| 1992  | 1    |    | 1   |     | 1   |     |     |      |     | 3     | 3%  |
| 1993  |      |    |     |     |     | 3   |     |      |     | 3     | 3%  |
| 1994  |      |    |     |     | 7   | 3   |     |      | 1   | 11    | 10% |
| 1995  |      |    |     |     | 1   |     |     |      | 1   | 2     | 2%  |
| 1996  | 1    |    |     |     | 1   | 2   |     |      | 2   | 6     | 5%  |
| 1997  |      |    |     |     | 3   | 1   |     |      | 1   | 5     | 5%  |
| 1998  |      |    |     |     |     | 1   |     |      | 2   | 3     | 3%  |
| 1999  | 4    |    |     | 2   | 2   |     |     | 1    | 2   | 11    | 14% |
| 2000  | 1    |    |     | 2   |     |     |     |      | 2   | 5     | 8%  |
| 소계  | 7    | 0  | 1   | 5   | 15  | 13  |     | 1    | 13  | 55    | 6%  |
| 합계  | 7    | 0  | 5   | 12  | 36  | 25  |     | 8    | 17  | 110   | 6%  |
| (2) Journal of Microbiology and Biotechnology |      |    |     |     |     |     |     |      |     |       |     |
| 연도  | 연구영역 |    |     |     |     |     |     |      | 계   | 총논문대비 |     |
|   | I    | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII |     |       |     |
| 1991  |      |    |     |     | 1   |     |     |      | 1   | 2     | 4%  |
| 1992  | 1    |    |     |     | 1   |     |     |      |     | 2     | 4%  |
| 1993  | 1    |    |     |     |     |     | 1   |      |     | 2     | 4%  |
| 1994  | 1    |    |     |     | 1   | 1   |     |      |     | 3     | 5%  |
| 1995  | 1    |    |     |     | 1   | 2   |     |      |     | 4     | 6%  |
| 1996  | 1    |    |     |     | 1   |     |     |      | 1   | 3     | 3%  |
| 1997  |      |    |     | 1   | 3   |     |     | 1    |     | 5     | 5%  |
| 1998  | 1    |    |     |     | 6   | 1   |     |      |     | 8     | 7%  |
| 1999  |      |    |     | 2   | 4   | 1   |     |      |     | 7     | 5%  |
| 2000  | 1    |    |     |     | 4   | 4   |     |      |     | 9     | 6%  |
| 합계  | 7    | 0  | 0   | 3   | 22  | 10  |     | 1    | 2   | 45    | 5%  |
| 총계  | 14   | 0  | 5   | 15  | 58  | 35  |     | 9    | 19  | 155   |     |
| 비율  | 9%   | 0% | 3%  | 10% | 37% | 23% |     | 6%   | 12% | 100%  |     |

\* 연구영역 구분은 &lt;도표 1&gt;과 같음.

<도표 4> 한국육수학회지에 게재된 논문분석

| 한국육수학회지 |       |     |     |    |    |    |     |      |      |       |
|---------|-------|-----|-----|----|----|----|-----|------|------|-------|
| 연 도     | 연구 영역 |     |     |    |    |    |     |      | 계    | 총논문대비 |
|         | I     | II  | III | IV | V  | VI | VII | VIII |      |       |
| 1968    |       |     |     |    |    |    |     |      |      | 0%    |
| 1969    | 3     |     |     |    |    |    |     |      |      | 19%   |
| 1970    | 1     |     |     |    |    |    |     |      |      | 20%   |
| 소계      | 4     | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0    | 4    | 14%   |
| 1971    | 3     |     |     |    |    |    |     | 1    | 4    | 31%   |
| 1972    | 2     |     |     |    |    |    |     |      | 2    | 15%   |
| 1973    | 3     |     |     |    |    |    |     |      | 3    | 23%   |
| 1974    | 1     |     |     |    |    |    |     |      | 1    | 7%    |
| 1975    | 1     |     |     |    |    |    |     |      | 1    | 8%    |
| 1976    | 1     |     |     |    |    |    |     |      | 1    | 7%    |
| 1977    | 3     |     |     |    |    |    |     |      | 3    | 19%   |
| 1978    | 2     |     |     |    |    |    |     |      | 2    | 13%   |
| 1979    |       | 1   |     |    |    |    |     |      | 1    | 11%   |
| 1980    | 1     |     |     | 1  |    |    |     |      | 2    | 22%   |
| 소계      | 17    | 1   | 0   | 1  | 0  | 0  | 0   | 1    | 20   | 16%   |
| 1981    | 1     |     |     |    |    |    |     |      | 1    | 13%   |
| 1982    | 1     |     |     |    |    |    | 1   |      | 2    | 18%   |
| 1983    | 3     |     |     |    |    |    |     |      | 3    | 23%   |
| 1984    |       |     |     | 1  |    |    |     |      | 1    | 5%    |
| 1985    | 1     |     |     | 1  |    |    | 1   |      | 3    | 19%   |
| 1986    | 1     |     |     | 1  |    |    |     |      | 2    | 11%   |
| 1987    | 3     |     |     |    | 1  |    |     |      | 4    | 17%   |
| 1988    | 2     | 1   |     |    |    |    |     |      | 3    | 17%   |
| 1989    | 4     | 4   |     | 1  |    |    | 1   |      | 10   | 36%   |
| 1990    | 1     | 3   |     | 2  | 2  |    |     | 1    | 9    | 45%   |
| 소계      | 17    | 8   | 0   | 6  | 3  | 0  | 3   | 1    | 38   | 22%   |
| 1991    | 10    | 1   |     |    | 2  |    |     |      | 13   | 46%   |
| 1992    | 4     | 2   |     | 2  | 1  |    |     |      | 9    | 33%   |
| 1993    | 9     |     |     | 1  | 2  |    |     |      | 12   | 43%   |
| 1994    | 8     | 3   |     | 1  | 1  |    |     |      | 13   | 38%   |
| 1995    | 8     | 5   |     | 2  | 2  |    | 2   |      | 19   | 40%   |
| 1996    | 15    | 4   |     |    |    |    | 3   |      | 22   | 61%   |
| 1997    | 14    | 4   |     | 1  | 1  |    | 1   |      | 21   | 42%   |
| 1998    | 8     |     |     | 2  |    |    | 1   |      | 11   | 32%   |
| 1999    | 10    | 5   |     |    |    |    | 2   |      | 17   | 43%   |
| 2000    | 4     | 4   | 1   |    |    |    | 3   |      | 12   | 32%   |
| 소계      | 90    | 28  | 1   | 9  | 9  | 0  | 12  | 0    | 149  | 41%   |
| 합계      | 128   | 37  | 1   | 16 | 12 | 0  | 15  | 2    | 211  | 30%   |
| 비율      | 61%   | 18% | 0%  | 8% | 6% | 0% | 7%  | 1%   | 100% |       |

\* 연구영역 구분은 <도표 1>과 같음.

&lt;도표 5&gt; 한국환경생물학회지에 게재된 논문분석

| 한국환경생물학회지 |      |     |     |    |     |    |     |      |   |            |
|-----------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|------|---|------------|
| 연도        | 연구영역 |     |     |    |     |    |     |      | 계 | 총논문대비      |
|           | I    | II  | III | IV | V   | VI | VII | VIII |   |            |
| 1981      |      |     |     |    |     |    |     |      |   |            |
| 1982      |      |     |     |    |     |    |     |      |   |            |
| 1983      | 1    |     |     | 1  |     |    |     |      |   | 2<br>50%   |
| 1984      | 1    |     |     |    |     |    |     |      |   | 1<br>33%   |
| 1985      | 2    |     |     |    |     |    |     |      |   | 2<br>40%   |
| 1986      | 1    |     |     |    |     |    |     |      |   | 1<br>20%   |
| 1987      | 2    |     |     |    |     |    |     |      |   | 2<br>50%   |
| 1988      |      |     |     |    | 1   |    |     |      |   | 1<br>25%   |
| 1989      | 1    |     |     |    |     |    |     |      |   | 1<br>20%   |
| 1990      | 1    |     |     |    | 1   |    |     |      |   | 2<br>25%   |
| 소계        | 9    | 0   | 0   | 1  | 2   | 0  | 0   | 0    |   | 12<br>32%  |
| 1991      |      | 1   |     |    |     |    |     |      |   | 1<br>10%   |
| 1992      | 5    | 1   |     |    |     |    |     |      |   | 6<br>46%   |
| 1993      | 4    | 1   | 1   |    | 1   |    | 1   |      |   | 8<br>44%   |
| 1994      | 4    | 1   | 1   |    |     |    |     |      |   | 6<br>38%   |
| 1995      | 2    | 3   | 1   |    | 3   |    |     |      |   | 9<br>50%   |
| 1996      | 2    | 2   |     |    | 1   |    | 2   |      |   | 7<br>30%   |
| 1997      | 1    | 2   |     |    | 5   |    | 3   |      |   | 11<br>42%  |
| 1998      | 8    | 1   | 1   | 3  | 5   |    | 2   |      |   | 20<br>37%  |
| 1999      | 7    | 3   | 1   | 1  | 1   |    | 3   |      |   | 16<br>26%  |
| 2000      | 7    |     | 2   |    | 3   |    | 1   |      |   | 13<br>28%  |
| 소계        | 40   | 15  | 7   | 4  | 19  | 0  | 12  | 0    |   | 97<br>34%  |
| 합계        | 49   | 15  | 7   | 5  | 21  | 0  | 12  | 0    |   | 109<br>34% |
| 비율        | 45%  | 14% | 6%  | 5% | 19% | 0% | 11% | 0%   |   | 100%       |

\* 연구영역 구분은 <도표 1>과 같음.

되었다(고려대 이영록, 충북대 김치경, 숙명여대 민경희, 서울대 하영철, 부산대 이종근, 국립환경연구소 서운수). 그리고 이들 오염물질을 분해하는 미생물의 분해효소와 분해 유전자에 관한 분자생물학적 연구가 조금씩 활발해지기 시작하였다. 특히 1990년도에 “유전자 조작기법으로 변형시킨 내성 유전자의 담수 환경에서의 전이 및 행방”(충북대 김치경), “토양에서 transformation에 의한 유전자 전이”(군산대 이진형)에 관한 연구논문이 발표됨으로서 미생물생태학 분야에서도 유전자 수준의 분자생태학적 연구가 시작되었다.

또 벚꽃과 같은 섬유소 물질의 농산물 폐자원이거나 축산 폐기물의 미생물 분해에 관한 연구가 환경정화 및 폐기물 활용이라는 차원에서 활발하게 이루어졌다(과학기술원 김병홍, 생명공학연구소 고영희, 윤병대). 가정하수 및 공장폐수의 처리장이 건설 운영됨에 따라 가정 하폐수의 미생물처리 과정에서 그리고 전분 및 주정폐수의 처리과정에서 미생물의 활성 및 분해처리의 효율성 그리고 분해능에 대한 환경요인들의 영향에 관한 연

구가 이루어졌다(도표 2, 도표 6). 그리고 각종 농약의 사용이 활발해 짐에 따라 농작물을 포함해서 농경지 토양과 수계에 오염된 농약의 잔류량에 대한 조사가 많았고, 이들 농약성분의 미생물 분해에 관한 연구논문이 한국환경농학회지에 많이 게재되었다 <도표 7>.

### 1990년대: 오염물질의 미생물 분해 및 분자생태학적 연구

1990년대에 들어와서는 부영양화와 유류오염과 같은 환경오염과 미생물 군집의 상호작용에 대한 관심이 높아졌으며 수계생태계를 중심으로 탄소, 질소, 인 등의 물질순환과 관련된 연구가 서울대(김상중, 박성주), 해양연구소(김상진, 이홍금), 강원대(안태석, 송홍규), 단국대(안태영) 등의 연구실에서 활발하게 진행되었다. 군집분포 조사에 관련된 논문이 178편, 활성과 관련된 논문이 73편으로 80년대에 비하여 3배 이상의 연구 논문이 보고되었다.

<도표 6> 한국생물공학회 학술지에 게재된 논문분석

| (1) 한국생물공학회지                                 |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
|--|-------|----|-----|----|-----|----|-----|------|------|---------|
| 연 도  | 연구 영역 |    |     |    |     |    |     |      | 계    | 총논문대비   |
|  | I     | II | III | IV | V   | VI | VII | VIII |      |         |
| 1986   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1987   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1988   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1989   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1990   |       |    |     |    | 1   |    |     |      |      | 1<br>2% |
| 소계   | 0     | 0  | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0    | 1    | 2%      |
| 1991   |       |    |     |    | 2   |    |     | 1    | 3    | 5%      |
| 1992   |       |    |     |    | 1   |    |     | 1    | 2    | 4%      |
| 1993   |       |    |     |    | 1   |    |     | 1    | 2    | 3%      |
| 1994   |       |    |     |    | 2   |    |     |      | 2    | 3%      |
| 1995   |       |    |     |    | 1   |    |     | 1    | 2    | 2%      |
| 1996   |       | 2  |     |    | 2   | 1  |     | 1    | 6    | 6%      |
| 1997   |       | 4  |     |    | 4   | 1  |     | 2    | 11   | 12%     |
| 1998   |       |    |     | 1  | 5   |    |     |      | 6    | 5%      |
| 1999   |       |    |     |    | 14  | 1  | 2   | 1    | 18   | 15%     |
| 2000   |       |    |     | 1  | 7   |    | 1   | 2    | 11   | 10%     |
| 소계   | 0     | 6  | 0   | 2  | 39  | 3  | 3   | 10   | 63   | 7%      |
| 합계   | 0     | 6  | 0   | 2  | 40  | 3  | 3   | 10   | 64   | 7%      |
| (2) Biotechnology and Bioprocess Engineering |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 연 도  | 연구 영역 |    |     |    |     |    |     |      | 계    | 총논문대비   |
|  | I     | II | III | IV | V   | VI | VII | VIII |      |         |
| 1991   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1992   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1993   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1994   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1995   |       |    |     |    |     |    |     |      |      |         |
| 1996   |       |    |     |    | 1   |    |     |      | 1    | 9%      |
| 1997   |       |    |     | 1  |     |    | 1   | 3    | 5    | 16%     |
| 1998   |       |    |     |    | 1   |    | 1   |      | 2    | 8%      |
| 1999   |       |    |     | 1  |     |    | 1   |      | 2    | 4%      |
| 2000   |       |    |     | 3  | 3   | 1  | 2   | 4    | 13   | 16%     |
| 합계   | 0     | 0  | 0   | 5  | 5   | 1  | 5   | 7    | 23   | 11%     |
| 총계   | 0     | 6  | 0   | 7  | 45  | 4  | 8   | 17   | 87   |         |
| 비율   | 0%    | 7% | 0%  | 8% | 52% | 5% | 9%  | 20%  | 100% |         |

\* 연구영역 구분은 <도표 1>과 같음.

또한 유전자 분석 및 분자생태학적 연구가 활성화되어 자연생태계에서 plasmid와 유전자의 안정성 및 전이동태에 관한 연구와 미생물 군집에 대한 유전자 수준의 연구가 수행되었다. 특히 세균 군집연구는 배양이 불가능한 세균까지 연구대상이 확장되었으며, 16S rRNA 유전자를 중심으로 다양한 분자생물학적 연구방법이 적용되었다(서울대 김상중, 천중식, 충북대 김치경, 이동훈, 강원대 안태석, 생명공학연구소 박용하, 배경숙). 자연생태

계의 미생물 군집구조를 연구하기 위해서 환경시료로부터 핵산을 직접 추출하는 방법, humic acid를 제거하는 정제방법, 특정 유전자를 PCR로 증폭하여 분석하는 방법과 분류군에 특이적인 유전자 탐침을 이용하는 방법(fluorescent *in situ* hybridization) 등이 개발되었다. Plasmid에 cloning된 유전자의 염기서열을 분석하거나 RFLP(restriction fragment length polymorphism) 패턴을 비교·분석하는 방법 외에도 DGGE(denaturing



&lt;도표7&gt; 한국환경농학회지와 대한환경공학회지에 게재된 논문분석

| (1) 한국환경농학회지 |       |    |     |    |    |    |     |      |     |
|--------------|-------|----|-----|----|----|----|-----|------|-----|
| 연도           | 연구 영역 |    |     |    |    |    |     |      | 계   |
|              | I     | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |     |
| 1982         |       |    |     | 1  |    |    | 8   |      | 9   |
| 1983         |       |    |     | 1  | 1  |    | 8   |      | 10  |
| 1984         |       |    |     | 1  | 3  |    | 5   |      | 9   |
| 1985         |       |    |     | 1  |    |    | 5   |      | 6   |
| 1986         |       |    |     | 1  | 1  |    | 5   |      | 7   |
| 1987         |       |    |     | 1  | 2  |    | 4   |      | 7   |
| 1988         |       |    |     | 1  | 2  |    | 4   |      | 7   |
| 1989         |       |    |     | 2  | 1  |    | 2   |      | 5   |
| 1990         |       |    |     | 1  | 3  |    | 3   |      | 7   |
| 소계           | 0     | 0  | 0   | 10 | 13 | 0  | 44  | 0    | 67  |
| 1991         |       |    |     |    | 1  |    | 3   |      | 4   |
| 1992         |       |    |     |    | 3  |    | 4   |      | 7   |
| 1993         |       |    |     |    | 5  |    | 4   |      | 9   |
| 1994         |       |    |     |    | 3  |    | 2   |      | 5   |
| 1995         |       |    |     | 1  | 2  |    | 4   |      | 7   |
| 1996         |       |    |     |    | 5  |    | 5   |      | 10  |
| 1997         |       |    |     |    | 7  |    | 3   | 3    | 13  |
| 1998         |       |    |     | 1  | 6  |    | 2   | 2    | 11  |
| 1999         |       |    |     |    | 3  |    | 3   | 2    | 8   |
| 2000         |       |    |     |    | 4  |    | 5   | 3    | 12  |
| 소계           | 0     | 0  | 0   | 2  | 39 | 0  | 35  | 10   | 86  |
| 합계           | 0     | 0  | 0   | 12 | 52 | 0  | 79  | 10   | 153 |
| (2) 대한환경공학회지 |       |    |     |    |    |    |     |      |     |
| 연도           | 연구 영역 |    |     |    |    |    |     |      | 계   |
|              | I     | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |     |
| 1982         |       |    |     |    |    |    |     | 1    | 1   |
| 1983         |       |    |     |    |    |    |     | 1    | 1   |
| 1984         |       |    |     |    |    |    |     |      |     |
| 1985         |       |    |     |    | 1  |    |     |      | 1   |
| 1986         |       |    |     |    |    |    |     |      |     |
| 1987         |       |    |     |    | 1  |    |     | 1    | 2   |
| 1988         |       |    |     |    |    |    |     |      |     |
| 1989         |       |    |     |    |    |    | 1   |      | 1   |
| 1990         |       |    |     |    |    |    | 1   | 2    | 3   |
| 소계           | 0     | 0  | 0   | 0  | 2  | 0  | 2   | 5    | 9   |
| 1991         |       |    |     |    | 1  |    |     | 3    | 4   |
| 1992         |       |    |     | 2  | 1  |    |     | 2    | 5   |
| 1993         |       |    |     |    | 1  |    |     | 3    | 4   |
| 1994         |       |    |     | 2  | 2  |    |     | 2    | 6   |
| 1995         |       |    |     | 2  | 8  |    | 2   | 3    | 15  |
| 1996         |       |    |     | 2  | 5  |    | 4   | 2    | 13  |
| 1997         |       |    |     | 4  | 6  |    | 3   | 1    | 14  |
| 1998         |       |    |     | 2  | 7  |    | 2   | 1    | 12  |
| 1999         |       |    |     | 1  | 5  |    | 3   | 1    | 10  |
| 2000         |       |    |     | 1  | 9  |    | 1   | 3    | 14  |
| 소계           | 0     | 0  | 0   | 16 | 45 | 0  | 15  | 21   | 97  |
| 합계           | 0     | 0  | 0   | 16 | 47 | 0  | 17  | 26   | 106 |

\* 연구영역 구분은 &lt;도표 1&gt;과 같음.

gradient gel electrophoresis), T-RFLP (terminal restriction fragment length polymorphism) 분석으로 community fingerprint를 조사하는 분자생태학적 연구도 진행되었다.

1990년대에는 수질오염의 결과로 나타나는 수화현상 녹조 및 적조의 원인생물인 식물 플랑크톤의 생리 및 생태적 특성 규명이 많은 비중을 차지하였다. 아울러 수질오염의 생물학적 평가 방법으로서 부착성 돌발류를 이용한 수질의 유기오염도 판정이 국내외 각 하천에서 시도되었다. 1990년대 후반에는 우리나라 담수계에서 늦은 겨울철에 나타나는 *Euglena* 종의 대발생이 보고되었으며, 여름철에 보고되는 남조류 *Microcystis* 종의 수화현상과 더불어 수환경 관리차원에서 고려해야할 과제로 등장하였다(강원대 김범철, 생명공학연구소 오희목) <도표 4, 도표 5>.

세균군집에 관한 연구는 해양 및 수계생태계를 대상으로 수층 및 퇴적도에서 많이 진행되었으며, 종속영양세균의 분포와 다양성, 생리학적 특성, 세포의 효소 활성력, 농약, 탄화수소 및 석유 분해세균의 분포와 분해능 등의 연구가 있었다. 특히 식물 플랑크톤의 대발생 수역에서의 연구가 많았으며, 탄소순환 부분에서는 식물 플랑크톤의 분포 및 일차생산력, 세균군집의 생물량 및 2차 생산력, cellulose 부착세균 및 황환원세균의 분포와 활성, heterotrophic activity, 세포의 효소활성도, 섬유소 및 유기물 분해, glucosidase 활성도, 미생물 순환고리, 동물 플랑크톤의 섭식작용에 관한 연구가 보고되었고, 질소순환에 관련된 탈질 및 질산화, 질소고정 능력에 대한 연구, 제한요인인 인의 순환과 관련된 유기인산염 분해율, phosphatase 활성도 등에 관한 연구가 있었다(서울대 김상중, 군산대 이진형, 단국대 안태영, 해양연구소 김상진, 인제대 권오섭). 토양을 대상으로 방선균 군집의 분포 및 다양성, 경유오염에 의한 군집변화 등의 연구가 보고되었으며, 활성슬러지, 지하수, 상수도 배급수관, 먹는 샘물, 식물잎권 등 다양한 시료를 대상으로 세균군집 및 지표세균에 관한 연구도 진행되었다.

환경오염 문제가 더욱 심각해지고 특히 중화학 공업에 의한 인공 유기합성 기술에 의하여 생산된 각종 농약과 세제 그리고 PCB나 dioxin을 위시하여 소위 환경호르몬이라고 일컫는 내분비계 교란물질들이 우리의 생활 주변에 심각한 수준으로 오염됨으로써 이들 유독성 그리고 난분해성 유기물질의 미생물 분해에 관한 연구 논문이 많이 보고되었다. 이와 같은 연구는 주로 분해미생물의 분리와 함께 분해경로의 추적 그리고 분해능에 대한 환경 및 배양조건들의 영향에 관한 것들이었고 일부의 연구실(고려대 이영록, 박용근, 순천향대 오계현, 서울대 가종역, 강원대 송홍규, 과기원 이성택, KIST 김병홍, 해양연구소 김상진)에서는 분해유전자의 클로닝 및 유전학적 구조의 특성과 발현기작에 관한 연구가 이루어졌다. 또 이들 분해효소의 kinetics뿐 아니라 효소학적 연구도 병행되었다. 특히 방향족 화합물의 벤젠 고리의 개환에 관여하는 mono- 또는 di-oxygenase와 그 유전자의 구조에 관한 연구가 활발하였고(충북대 김치경, 김영창, 숙

명여대 민경희, 창원대 이경, 연세대 김응빈, 해양대 고성철, 전남대 정선용), 염소화 유기오염물질의 미생물에 의한 환원적 탈염소화 기능에 관한 연구는 울산대(김종실), 인제대(권오섭)등에서 혐기성 작용을 연구했고, 호기성 환경에서의 가수분해적 탈염소화 작용과 그 유전자의 분석에 관하여 충북대(김치경)에서 활발하게 연구해왔다<도표 2, 도표 3, 도표 6>.

제초제와 살충제 농약의 분해에 관해서 순천향대(오계현)와 생명공학연구소(오희목) 그리고 많은 농화학과의 연구실에서 연구가 진행되었다. 이와 같이 환경오염물질의 미생물 분해뿐 아니라 분해효소와 분해유전자에 관한 분자생물학적 연구가 1990년대에 와서 매우 활발해졌던 것은 오염문제의 심각성과 함께 분자생태학적 기술의 도입에 의한 것이었다. 그것은 90년대 생태 및 환경미생물학 분야의 연구 논문 중 이 분야의 논문이 35~40%를 차지하는 것으로 입증되는 것이다.

또 다른 한편으로는 이와 같이 유독성 오염물질의 검색을 보다 쉽고 빠르게 하기 위하여 여러 가지 biosensor의 개발에 관한 연구가 진행되었다. 생물체에 의한 기존의 검색 방법이 충분히 민감하지 못한 이유 때문에 형광 또는 *gfp* 유전자를 marker로 사용하여 여러 가지 세균의 promoter와 접합시켜 bacterial biosensor를 개발하는 연구를 광주과기대(구만복), 서울대(김상중)와 한국외대(이규호) 그리고 충북대(김치경, 이동훈)에서 수행하였다.

1990년대에 와서는 환경오염 물질의 분해뿐 아니라 유전자에 관한 연구가 매우 활발히 진행됨으로서 한국미생물학회와 한국산업미생물학회 그리고 한국생물공학회의 국·영문 학술지에 각각 108편, 50편 그리고 48편의 논문이 발표되었다. 반면에 1982년부터 간행된 한국환경농학회지와 대한환경공학회지에도 오염물질의 미생물 분해 및 영향, 생태계의 오염 조사 그리고 하폐수 처리 분야의 논문이 주로 발표되었는데, 1990년대 들어와 발표논문수가 급격히 늘어나 각각 143편과 80편이나 게재되었다. 그리고 농축산 폐수처리와 중금속이나 각종 농약의 분석 그리고 공업 폐수에 관한 처리와 방제에 대한 논문들은 주로 상기의 두 학회지에 많이 게재되었다<도표 7>.

### 국내·외의 학술대회발표 활동

한국미생물학회와 한국산업미생물학회에는 1990년 이래로 환경미생물학분과위원회가 각각 구성되어 있었으며, 매년 춘계 또는 추계 학술대회에서 미생물 생태학 및 환경미생물학에 관하여 특정한 주제를 설정해서 관련분야의 연구자들을 초청하여 특별 심포지엄을 개최해왔다. 그 이전에는 한국미생물학회에서 1988년 홍순우 교수 추모 환경미생물학 심포지엄을 개최하여 수계 및 토양계의 미생물 조사 및 난분해성 오염물질의 미생물분해에 관하여 10과제의 논문발표가 있었고, 1992년에는 한·미 공동으로 환경미생물학 심포지엄을 개최하여 폐수처리 및 오염물질의 미생물 분해 그리고 생태계 미생물의 기능에 관하여 논문발

<도표 8> 환경미생물학 관련 특별심포지엄의 내용

| 연 도  | 한국미생물학회  |           | 한국산업미생물학회  |          |
|------|--|-----------|--|----------|
|      | 주 제  | 발표논문      | 주 제  | 발표논문     |
| 1988 | (4월) 환경미생물학 심포지엄<br>(홍순우 교수 추모)                            | 10편       |  |          |
| 1992 | (4월) 한미공동 환경미생물학<br>(10월)환경미생물학 심포지엄                       | 10편       | (4월) 환경미생물학 심포지엄   | 5편       |
| 1995 | (4월) 미생물생태학<br>(10월) Microbial Diversity                   | 5편<br>10편 |  |          |
| 1996 | (4월) 환경과 생태학   | 4편        | (4월) 환경미생물학 심포지엄   | 6편       |
| 1997 | (4월) Molecular Biological<br>Approach to Microbial Ecology | 4편        | (4월) 환경미생물학 심포지엄   | 5편       |
| 1998 | (4월) Bioremediation(5과제)                                   | 5편        | (4월) 환경미생물학 심포지엄<br>(10월)환경미생물학 심포지엄   | 5편<br>6편 |
| 1999 | (4월) 오염물질의 미생물분해<br>(충북대와 공동주최)                            | 10편       | (4월) Environmental Biotechnology<br>(10월)오염물질의 변환  | 3편<br>6편 |
| 2000 | (5월) Biodegradation of Xenobiotics                         | 5편        | (5월) Microbial Presponse and Degradation<br>of endocrine Disrupters (toxic compounds)<br>(10월)오염물질의 미생물학적 처리 | 5편<br>7편 |
| 2001 | (5월) Microbe-Environment Interaction                       | 4편        | (5월) Bioremediation and<br>Environmental Microbiology  | 9편       |
|      | (11월) Environmental Microbiology                           | 4편        |  |          |
|      | (11월)미생물학회연합 공동 - Ecology and Pathology(5편)                |           |  |          |

표회를 가졌다<도표 8>.

이와 같은 심포지엄은 그 후에도 매년 개최되었는데, 한국미생물학회의 심포지엄 주제를 연도별로 보면 1995년에 미생물생태학(5편)과 microbial diversity(10편), 1996년에는 환경과 생태학(4편), 1997년에 molecular biological approach to microbial ecology(4편), 1998년에는 bioremediation(5편), 1999년에는 충북대와 공동 개최로 오염물질의 미생물분해(10편), 2000년에는 biodegradation of xenobiotics(5편) 그리고 2001년에는 microbe-environment interaction(4편)에 관한 것으로서 시대에 따라 변화하는 환경미생물학 분야의 새로운 연구 동향을 소개해 왔다<도표 8>.

한국산업미생물학회에서도 환경미생물학 분과위원회의 주관 하에 1998년까지 환경미생물학 전반에 걸쳐 새롭고 특출한 연구 논문을 발표해 오다가 1999년부터는 특정주제를 설정하여 심포지엄을 개최하였다. 즉 1999년에는 environmental biotechnology (3편)와 오염물질의 변환(6편), 2000년에는 microbial responses and degradation of endocrine disrupters(toxic compounds) (5편)와 오염물질의 미생물학적 처리(7편) 그리고 2001년에 bioremediation and environmental microbiology(9편)의 주제로 새로운 연구동향에 대한 발표가 있었다.

특별 심포지엄 이외에도 국내 학회의 춘계, 추계 학술대회에서 주로 포스터로 발표하는 논문수가 점점 많아졌을 뿐만 아니

라 국제 심포지엄도 개최되었다. 한국미생물학회 뿐만 아니라 한국산업미생물학회의 학술대회에서 발표되는 생태 및 환경미생물학 그리고 환경생물공학분야의 논문 수는 전체발표논문의 약 20%를 차지하고 있다. 1993년에 한국미생물학회와 서울대 분자미생물학연구센터의 공동주관으로 국제 환경미생물학 심포지엄이 개최되었으며, 1996년에 포항공대 주관으로 국제 환경생물공학 심포지엄을 가졌고 2000년에는 광주과기대의 환경모니터링연구센터에서 제3회 국제 환경모니터링 심포지엄을 개최한 바 있다. 또 한국육수학회의 주회원들(조규송, 정평림, 안태석, 주기재 등)이 1970년대부터 한·일 공동으로 수계생태학 심포지엄을 교대로 개최해오다가 1990년대 중반부터는 한·중·일을 중심으로 아세아권 학자들이 참여하는 하천 및 호소생태학 심포지엄을 매 2년마다 교대로 개최해 오고있어 우리나라의 생태 및 환경미생물학 분야에서도 국제적인 학술교류가 활발해지고 있다.

또 미생물생태 및 환경미생물학 분야의 국제학회인 국제 미생물생태학회 (ISME, International Society of Microbial Ecology) 와 국제 환경생물공학학회 (ISEB, International Society of Environmental Biotechnology)가 매 3년마다 개최하는 국제 심포지엄에도 한국의 관련학자들이 많이 참여하고 있다. 그 외에도 2~3년마다 개최되는 BAGECO(Bacterial Genetics and Ecology) 와 국제육수학회(SIL) 그리고 Pseudomonas Symposium, SAME

(Symposium on Aquatic Microbial Ecology), 국제생태학회 (INTECOL), 그 외의 많은 관련 국제학회에도 한국의 학자들이 많은 연구논문을 발표하고 있다. 또 우리나라의 생태 및 환경미생물학 분야의 몇몇 학자들은 국제 학술기구의 임원으로 활동하고 있으며(하영칠, 김치경, 구만복) 또 많은 외국학자들과 국제적인 교류 및 공동연구를 활발하게 수행하고 있다.

그 동안 미생물생태 및 환경미생물학 분야에 국내 연구자들이 많은 노력으로 쌓아온 연구의 성과는 국내의 미생물학 관련 학술지는 물론 국제적인 학술지에도 많이 게재되고 있다. 그 동안 국제학술지에 발표된 논문을 저자로부터 수합하여 연구영역별로 정리하고 있는 중이다. 이와 같이 국내 연구자들의 논문이 SCI 급의 우수한 국제학술지에 많이 게재되고 있는 것은 우리나라의 생태 및 환경미생물학 분야의 학술연구도 세계적 수준으로 향상되었음을 입증하는 것이다.

## 21 세기 환경미생물학의 연구과제와 전망

본 원고에서 조사 분석한 환경미생물학의 범위는 우리가 그동안 일반적으로 생각해왔던 두 영역으로 크게 구분하였다. 즉 미생물 생태학의 영역과 오염정화 미생물학의 영역으로 나누었고, 다시 세분하여 ①수계 및 토양계의 미생물 분포조사, ②생태계에서 미생물의 생리적 기능 및 활성, ③분자생태학 및 생태계의 유전자 분석, ④미생물에 대한 환경요소 및 오염물질의 영향, ⑤미생물에 의한 오염물질의 분해, ⑥오염물질의 분해효소 및 분해 유전자, ⑦생태계의 오염조사 및 방제, ⑧미생물에 의한 하·폐수의 처리 등으로 구분하여 그 동안 발표된 연구 논문을 분석하였다.

그러나 현대의 생명과학에 있어서 종합적 학문의 성격을 갖는 생태학에서 굳이 미생물 생태학이라는 영역을 설정하는 것이 인위적인 의도라는 것을 배제할 수 없듯이, 환경미생물학이라는 학문 영역도 위에서 구분 지은 8개 분야를 초월하여 보다 넓은 의미로 해석하는 것이 더 옳을 듯하다.

모든 생물이 그렇듯이 미생물의 생명작용도 세포외 뿐 아니라 세포내의 환경요소들과 끊임없는 그리고 복합적인 상호작용의 결과에 의한 현상이라고 한다면, 미생물학의 모든 분야가 환경미생물학이라 해도 과언이 아닐 것이다. 그러나 미생물 생태학에서 우리는 편의상 군집생태학이나 세포생태학의 개념으로 접근해 왔고, 그 분석은 개체 세포 단위에서부터 개체간의 관계에 이르기까지 시행해왔던 것이다. 그러나 1970년대 이후 분자생물학의 발달에 의하여 그 분석은 핵산이나 단백질과 같은 분자수준에서 이루어지게 되었고, 자연 생태계에서도 거대분자 물질들의 기능에 대하여 연구하게 됨으로서 분자생태학이라는 연구방법이 활발해 졌던 것이다.

그러한 의미에서 미생물 세포나 기능성 분자들과 환경요인들과의 관계를 environmental signal의 sensing과 transduction, transcription, post-transcriptional adjustment 그리고 이와 같

은 과정을 조절하는 global regulation mechanism 등에 대하여 지금까지는 유전학이나 분자생물학의 영역에서 주로 연구해왔다. 그러나 이와 같은 과제들도 넓은 의미로 본다면 환경미생물학의 범주에 모두 포함된다고 할 수 있다. 우리가 흔히 어떤 유전자를 cloning하려고 할 때 그 유전자의 특성이 숙주세포에서 발현되지 않으면 cloning이 안되었다고 생각하기 쉬우나, 그 유전자의 발현 여부는 앞에서 언급한 각 단계의 생명작용이 환경요소들과의 협력관계를 통하여 나타나는 필연의 결과라는 것을 생각해야 할 것이다. 그래서 "life supports system"이란 말의 의미는 생명작용이 세포의 생명 정보만으로 이루어지는 것이 아니라 이 정보의 발현을 뒷받침하는 일체의 환경체계가 뒷받침되어야 가능하다는 것을 의미한다.

다양하면서도 극한적인 자연 환경에도 독특하면서 다양한 미생물들이 존재하며 각기 그들의 기능을 발휘하는 것도 그 미생물의 고유한 특성이 발현되고 생존할 수 있는 환경조건이 갖추어져 있기 때문인 것이다. 그래서 일찍이 Beijerinck가 "everything is everywhere, the environment selects" 이라고 한 말도 생물의 생명작용은 곧 환경과의 관계에 의하여 나타나는 결과인 것을 지적했던 것이다. 그것은 Darwin의 "natural selection (자연도태설)"과도 통하는 것이며, 현대 생물진화의 개념인 "gene pool"의 원리와도 맥을 같이한다고 할 수 있다. 그러므로 생태계의 미생물 군집에 대하여 DNA 또는 RNA 분석을 통한 분자생태학적 연구의 중요성이 더욱 커지게 될 것이다.

환경요인 중에는 자연적인 "determinant factor"도 많지만 근래에 와서 인간의 활동이 활발해지면서 인위적으로 생산된 독성물질과 같은 "determinant factor"들은 자연계를 오염시키고 생명체의 기능을 파괴하고 생존을 위협하고 있다. 이것을 우리는 "환경 오염문제"라고 말한다. 이들 오염의 충격에 의하여 환경의 평형이 파괴되는 재난을 극복하는 능력을 미생물들이 많이 가지고 있기 때문에 오염문제의 해결방법으로 환경미생물학의 연구에 주목하는 것이다. 그래서 오염문제가 심각해진 현대의 산업사회에서 환경미생물학은 오염물질의 분해 처리 즉 biodegradation 내지 bioremediation 이라는 적극적인 개념으로 중요한 위치를 차지하게 되었다. 또 특정 유전자를 biosensor로 이용함으로써 DNA microarray chip에 의한 독성오염물질의 검색 뿐 아니라 하폐수 처리공정에서 미생물의 종류와 기능을 monitoring하는 환경생물공학기술의 발전이 기대되고 있다.

그러므로 환경미생물학의 연구는 이제 오염물질에 대한 미생물의 분해 기능뿐 아니라 분해유전자와 분해효소에 대하여 분자생물학적으로 접근하게 되었다. 그리고 자연환경에서 미생물들이 각각의 환경요인들에 대하여 반응하는 생명원리를 분자생태학적인 방법으로 연구하고 또 군집 내에서의 상호작용을 분석하여 유전자의 진화관계까지 추구하게 된 것이다. 앞으로도 환경미생물학은 이와 같이 종합적이면서도 기본적인 학문으로 인식되고 보다 활발하게 연구될 것으로 전망하는 것이다.

<본 총설의 일부는 대한민국 학술원의 「한국의 학술연구, 생물학 편」에 게재되었으며, 많은 통계 자료를 조사 분석하여 충실한 내용이 되도록 협조하여 주신 생명공학연구소의 오희목 박사와 충북대학교의 이동훈 교수에게 감사를 드립니다.>

### 참고 문헌

1. 한국미생물학회. 미생물학회지, 1권 1호~36권 4호, 1963~2000
2. 한국미생물학회. 미생물과산업, 1권 1호~26권 2호, 1965~2000
3. 한국미생물학회. Journal of Microbiology, Vol. 33, No. 1~Vol. 38, No. 4, 1995~2000
4. 한국산업미생물학회. 산업미생물학회지, 1권 1호~28권 6호, 1973~2000
5. 한국산업미생물학회. Journal of Microbiology and Biotechnology, Vol. 1, No.1~Vol. 10, No. 6, 1991~2000
6. 한국육수학회. 한국육수학회지, 1권 1호~33권 4호, 1968~2000
7. 한국환경생물학회. 환경생물, 1권 1호~18권 4호, 1983~2000
8. 한국생물공학회. 한국생물공학회지, 1권 1호~15권 6호, 1987~2000
9. 한국생물공학회. Biotechnology and Bioprocess Engineering, Vol. 1, No. 1~Vol. 5, No. 6, 1996~2000
10. 한국환경농학회. 한국환경농학회지, 1권 1호~19권 4호, 1982~2000
11. 대한환경공학회. 대한환경공학회지, 1권 1호~23권 12호, 1979~2000
12. 한국미생물학회. 학술대회 초록집, 1980~2001
13. 한국산업미생물학회. 학술대회 초록집, 1990~2001



김치경(金致卿)

1958~1964 서울대학교 사범대 생물과 (이학사)

1965~1967 건국대학교 대학원 생물학과 (이학석사)

1972~1977 미국 Ohio State University 미생물학과 (Ph.D.)

1977~1979 미국 Ohio주 수질자원연구소 연구원

1979~현재 충북대학교 생명과학부 교수

1986~1988 충북대학교 자연대 학장

1986~1991 충북대학교 유전공학연구소 소장

1986~2001 미국 Univ. of Maryland, 미국 State Univ. of New York, 이태리 Univ. of Firenze, 일본 RIKEN, 독일 Dresden Univ. of Technol. 방문연구

1989~1998 국제 미생물생태학위원회(ICME) 한국대표위원

1993~1996 (사)한국미생물학회 부회장 및 회장

1999~현재 (사)한국미생물·생명공학회 환경미생물학분과위원장

1999~현재 국제 환경생물공학회 (ISEB) 국제자문위원